

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kolísání napětí a flickr
Voltage fluctuation and flicker

2013

Roman Česlár

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Roman Česlár

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Kolísání napětí a flickr
Voltage Fluctuations and Flicker

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky kvality elektrické energie
2. Rozbor problematiky kolísání napětí a flickru
3. Technické možnosti měření
4. Ukázka vyhodnocení naměřených dat

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
2. ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
3. Další literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce

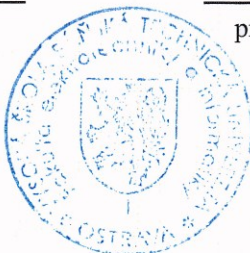
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. 5. 2012



.....
Roman Česlár

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D., panu Ing. Zdeňku Brunclíkovi za cenné rady a informace při odborných konzultacích a mé rodině za obrovskou trpělivost a podporu při zpracování bakalářské práce .

Souhlas

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 7. 5. 2012



.....
Zástupce ČEZ Distribuce a.s.
Ing. Zdeněk Burdek Ph.D.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá kolísáním napětí a problematikou flikru. V bakalářské práci je popsána teorie Elektromagnetické kompatibility. V další kapitole je popsána teorie kolísání napětí a flikru, jejich vznik a prostředky k omezení. V rámci technických možností měření kolísání napětí a flikru jsou v bakalářské práci uvedeny dva přístroje od různých výrobců, které se standardně používají ve skupině ČEZ. Jeden z uvedených přístrojů byl použit i v praktické části bakalářské práce, ta se zabývá dvěma měřeními v obci Štítý, které probíhaly souběžně na hladině VN a hladině NN vyvolané v rámci požadavku zákazníka na navýšení příkonu. Pro účely rozboru a vyhodnocení naměřených dat byly použity jen vybraná data.

Klíčová slova

elektrická energie, napájecí napětí, kvalita napětí, kolísání napětí, flikr, distribuční síť, rušení, elektromagnetická kompatibility, dodavatel, odběratel, zpětné vlivy na distribuční síť, vysoké napětí, nízké napětí

Abstract

This thesis deals with the issue of rapid voltage changes and flicker. In the beginning of this thesis there is described the theory of Electromagnetic Compatibility. The next chapter describes the theory of rapid voltage changes and flicker just like their origin and the instruments for their limiting. Under the technical possibilities of measurement of rapid voltage changes and flicker there are two devices presented in this thesis from different producer which are commonly used in ČEZ company. One of these devices was used in the practical part of the thesis, which deals with the two measurements in the village Štítý and the measurements run parallel on the high and low voltage level. These measurements were induced by customer, who asks increase of power supply. For the purposes of analysis and evaluation of measured data were used only selected data.

Key words

electric power supply, supply voltage, voltage quality, voltage fluctuation, flicker, distribution network, disturbance, electromagnetetic compatibility, supplier, customer, back effects to distribution network, high voltage, low voltage

Seznam použitých zkratk

EMC	- Elektromagnetická kompatibilita
ČSN	- Česká státní norma
EN	- European standart - evropská norma
PNE	- Podniková norma energetiky
IEC	- International Electrotechnical Commission
nn (NN)	- Nízké napětí - do 1kV
vn (VN)	- Vysoké napětí - od 1kV do 52kV
vvn (VVN)	- Velmi vysoké napětí - od 52kV do 300kV
L1	- první fáze
L2	- druhá fáze
L3	- třetí fáze
N	- střední/nulový vodič
DTS	- Distribuční trafostanice
RMS	- Efektivní hodnota
THD	- Total harmonic distortion - Celkové harmonické zkreslení
THDu	- Total harmonic distortion voltage - Celkové harmonické zkreslení napětí
PC	- Personal computer - osobní počítač
HDD	- Hard disc - pevný disk - médium pro ukládání dat
USB	- Universal serial bus - univerzální sériová sběrnice
RS232	- komunikační sériové rozhraní osobních počítačů a další elektroniky
PQ monitor	- Power quality monitor - monitor kvality napětí
SCADA	- Supervisory control and data acquisition - Systém dispečerského řízení a sběru dat
DŘS	- Dispečerský řídicí systém

OBSAH

1. Úvod	1
2. Elektromagnetická kompatibilita a interference	2
2.1. Rozdělení rušení.....	3
2.2. Základní pojmy Elektromagnetické kompatibility	4
2.3. Kompatibilní úroveň	4
2.3. Energetické rušení.....	5
3. Kolísání napětí v síti a flickr	6
3.1. Základní pojmy	6
3.2. Vznik kolísání napětí v síti a flickr.....	6
3.3. Prostředky pro omezení kolísání napětí a flickru	8
4. Technické možnosti měření	10
4.1. Komplexní analyzátor sítí BK ELCOM - PNA600	10
4.2. Přenosný Power Quality monitor MEg30	13
5. Měření, zpracování a rozbor naměřených dat	16
5.1. Měření č.1 – SU_0832 Štíty.....	16
5.2. Měření č.2 – SU_9116 Štíty.....	24
6. Závěr	31
Použitá literatura	32
Seznam příloh	33

1. Úvod

V dnešní době je elektrická energie jednou z nepostradatelných součástí života. Je nezbytná jak v průmyslu, tak v drtivé většině domácností. Už ze samotné podstaty elektrické energie vyplývá, že se jedná o komoditu, která se jen velmi obtížně a nákladně hromadně skladuje. Výroba elektrické energie zpravidla neprobíhá v místě spotřeby a je na místo spotřeby dopravována distribuční sítí, do které je napojeno několik výroben elektrické energie.

Distribuční sítě různých distributorů a napěťových úrovní, bývají propojeny mezi sebou a jsou napojeny do přenosové sítě. Do distribučních sítí jsou napojeny i lokální distribuční sítě, což v kombinaci s trasou mezi výrobnou elektrické energie a spotřebitelem, která mnohdy obsahuje kilometry venkovních a kabelových vedení a několik transformací, velmi ztěžuje reálné možnosti kontroly kvality elektrické energie v místech spotřeby. V podstatě se nedá zajistit, aby se v distribuční síti neobjevila elektrická energie, která nemá žádané kvalitativní parametry, nebo aby se takto nekvalitní produkt nedostal až ke spotřebiteli.

Celková cena elektrické energie, i přes pokles cen silové elektrické energie, se vlivem zvyšující se ceny za distribuci elektrické energie neustále zvyšuje. I s ohledem na tuto skutečnost odběratelé i dodavatelé stále více dbají na kvalitu elektrické energie, neboť právě ta je jedna z hlavních hodnotitelných vlastností elektrické energie.

Za kvalitní dodávku elektrické energie se dá považovat taková dodávka, která má stabilní napětí a kmitočet. S rozvojem techniky a vlivem zvyšování hospodárnosti využití elektrické energie je masivní nasazování úsporných spotřebičů. Většina těchto úsporných spotřebičů má nelineární či proměnlivé provozní charakteristiky, které způsobují stále výraznější zpětné vlivy na distribuční sítě. Tyto vlivy za určitých podmínek působí rušivě na ostatní přístroje a zařízení.

Existují však i další faktory, které způsobují rušivé vlivy v distribuční soustavě. Jedním z nich je připínání a odpínání velkých odběrů, většinou v průmyslové výrobě. Dalším faktorem je i rozmach obnovitelných zdrojů. Z těchto se nejvíce projevují ty, u kterých nelze predikovat výrobu elektrické energie. Některé velké zdroje tohoto typu ovlivňují celoevropskou přenosovou soustavu s dopady na jednotlivé distribuční soustavy.

Jedním z hlavních parametrů výrobců elektrických přístrojů a zařízení, tedy musí být odolnost proti těmto rušivým vlivům. Odolnosti zařízení a přístrojů elektromagnetickému rušení a posuzování, jak velkým zdrojem rušení přenášejícím se do distribuční soustavy zařízení je, se věnuje obor zvaný Elektromagnetická kompatibilita.

2. Elektromagnetická kompatibilita a interference

S elektromagnetickým prostředím systému souvisí Elektromagnetická kompatibilita a Elektromagnetická interference, které vyjadřují závažnost a velikost vzájemného působení prostředí systému a jednotlivých prvků.

Prvek je elektromagneticky kompatibilní, pokud je v souladu s elektromagnetickým prostředím. Což v praxi znamená, že citlivost zařízení, nebo intenzita elektromagnetického jevu, který na zařízení působí, je dostatečně malá a neovlivňuje nežádoucím způsobem funkčnost zařízení. V tomto případě označujeme vliv tohoto jevu na okolí jako rušení.

Prvek je elektromagneticky nekompatibilní, pokud dochází k nežádoucímu ovlivnění jeho provozu a zhoršení jeho fungování, což může být způsobeno velkou citlivostí zařízení na elektromagnetické prostředí, nebo tak velkou intenzitou působení prostředí, že zařízení funguje jinak než bylo původně požadováno. V tomto případě se jedná o Elektromagnetickou interferenci mezi prvkem a prostředím.

Z hlediska povahy působení prvků na elektromagnetickou interferenci v daném elektromagnetickém prostředí je lze rozdělit na:

- | | |
|-------------------|--|
| - přijímač rušení | - prvek, jehož funkce může být zhoršena rušením |
| - zdroj rušení | - prvek, který vyzařuje potenciální rušení |
| - vazební cesta | - je to spojovací cesta mezi zdrojem a přijímačem rušení |

Jako příklad může sloužit připojení obnovitelného zdroje, například 1MW fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě 22kV, na konci odbočky napájející obce. Jelikož se jedná o nepredikovatelný zdroj elektrické energie, dochází k výkyvům napětí v dané obci. Každá dodávka způsobí zvýšení napětí. Přerušení dodávky v nočních hodinách, nebo snížení dodávky, v denních hodinách, kdy je povětrnostními podmínkami osvit snížen, způsobí návrat napětí na předchozí hodnoty. V tomto případě je zřejmé, že by zdrojem rušení byla nově připojená výrobná. Odstranění tohoto typu rušení musí být zohledněno už při návrhu a schvalování připojení nové výrobní do distribuční sítě a to tak, aby bylo vyhověno Pravidlům pro provozování distribuční sítě. Jedním z možných řešení je zajistit přenos výkonu z výrobní do distribuční soustavy bez nutnosti lokálního navýšení napětí pomocí fázového posunu napětí a proudu, nebo použitím transformátorů s řízením napětí změnou odbočky za provozu. Poslední uvedená varianta je ovšem velmi finančně náročná pro provozovatele distribuční sítě.

2.1. Rozdělení rušení

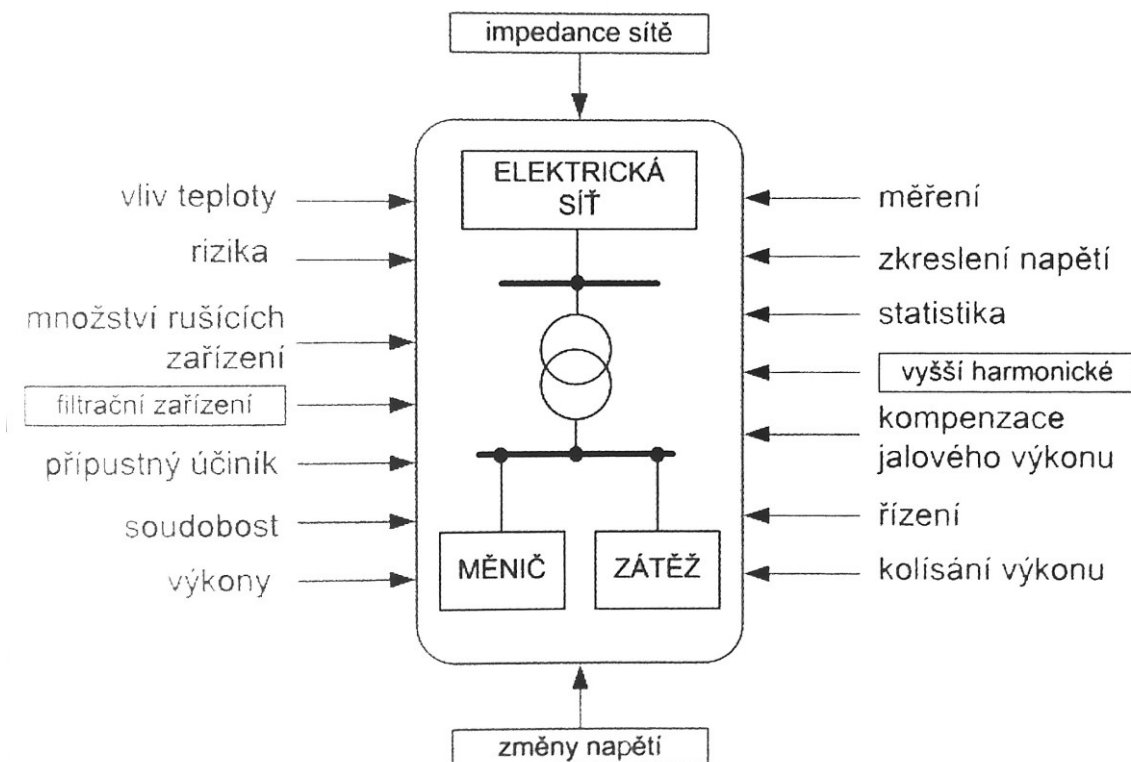
Z fyzikálního hlediska je možno rušení rozdělit dle charakteru do kmitočtových pásem (energetická, akustická, rádiová, mezipásmo rádiového a akustického rušení).

Základní typy rušení dělíme do těchto oblastí:

- nízkofrekvenční rušení
- rušení zavlečené z vnějšku
- vysokofrekvenční rušení
- elektrostatické rušení
- magnetické rušení
- elektromagnetické rušení
- spjaté s napájením sítě
- blesk
- přechodné jevy na vedení
- výboje
- impulsní magnetické pole a rušení síťového kmitočtu
- rozhlasové, televizní a telekomunikační vysílače

[4]

Tyto rušení dále můžeme rozdělit na stochastické a deterministické. Mezi stochastická rušení se řadí například blesk, nebo přepětí impulsního charakteru, vznikající vlivem indukčností spínaných mechanicky, stykači nebo kontakty relé. Deterministickými zdroji rušení jsou spotřebiče s nelineární volt-ampérovou charakteristikou, odpovědné za složky vyšších harmonických v síti. Oba druhy rušení se šíří venkovními vedeními, kabelovými vedeními, vnitřním rozvodem nebo volným prostorem.



[4]

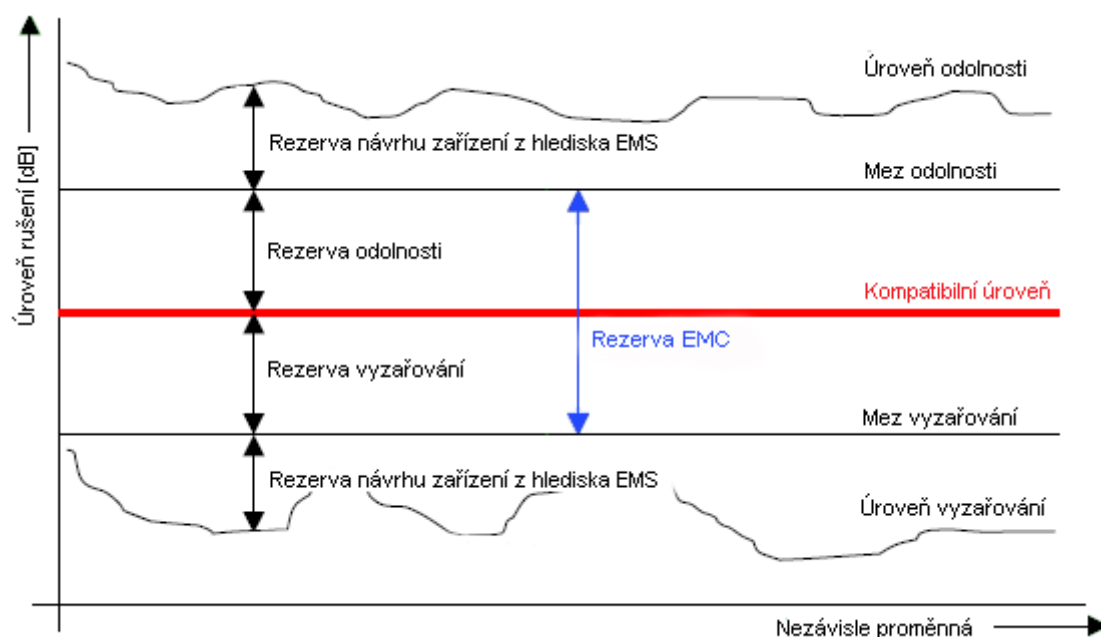
Obr. 1. Přehled problematiky EMC v oblasti NF rušení

2.2. Základní pojmy Elektromagnetické kompatibility

- | | |
|-------------------------|--|
| - úroveň rušení | - úroveň elektromagnetického rušení |
| - úroveň vyzařování | - úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním prvkem |
| - mez vyzařování | - maximální dovolená úroveň vyzařování |
| - úroveň odolnosti | - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní prvek při kterém nedochází ke zhoršení provozu |
| - mez odolnosti | - nejnižší požadovaná úroveň odolnosti, po překročení se mohou objevit u prvku poruchy |
| - kompatibilní úroveň | - předepsaná úroveň rušení, při které by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility |
| - rezerva vyzařování | - rozdíl kompatibilní úrovně a meze vyzařování |
| - rezerva odolnosti | - rozdíl kompatibilní úrovně a meze odolnosti |
| - rezerva kompatibility | - poměr meze odolnosti a meze vyzařování |

2.3. Kompatibilní úroveň

Dle elektromagnetické kompatibility lze stanovit vztažnou kompatibilní úroveň jako hodnotu, která určuje úroveň rušení a úroveň odolnosti různých typů zařízení. Kompatibilní úroveň by měla pokrýt alespoň 95% případů rušení a je uvažována za referenční hodnotu zaručující bezproblémový chod distribučních sítí, ke kterým jsou připojeni jednotliví zákazníci. Z grafického znázornění rušení a přípustných hladin obr.2. je zřejmé, že přípustná hladina je výchozí hodnotou pro mezní velikosti odolnosti proti rušení a meze vyzařování. V obrázku je také patrné pásmo rezervy návrhu zařízení z hlediska Elektromagnetické susceptibility, která vyjadřuje míru odolnosti zařízení pracovat bez zhoršení charakteristik při určité úrovni rušení. Elektromagnetická susceptibilita se zabývá hlavně technickými řešeními, které zvyšují prvku elektromagnetickou imunitu, jedná se tedy hlavně o odstraňování důsledků rušení a ne o řešení příčin.



Obr. 2. Rušení a přípustné hladiny

2.3. Energetické rušení

Podle vztahu k základnímu kmitočtu síťového napětí je možno zpětné vlivy na napájecí síť rozdělit do tří oblastí.

[4]

- | | |
|------------------------|--|
| - podsynchronní oblast | - kmitočet rušení pod 50Hz, kdy se rušení napájení projevuje jako kolísání napětí, krátkodobá přepětí, krátkodobá podpětí, výpadky napětí a flikr |
| - synchronní oblast | - kmitočet 50Hz, rušení v oblasti změn hlavních veličin (U, I, P) vlivem nelineárních zátěží, které mohou celkovou bilanci činného a jalového výkonu změnit během jediné periody, čímž ovlivní hlavní kritéria pro posuzování kvality. Tyto vlivy mají dopady i na podsynchronní a nadsynchronní oblasti rušení. |
| - nadsynchronní oblast | - kmitočet rušení nad 50Hz do 2500Hz, v této oblasti jsou definovány vyšší harmonické U a I a interharmonické U a I. |

3. Kolísání napětí v síti a flickr

3.1. Základní pojmy

- | | |
|-----------------------------|---|
| - změna napětí | - změna hodnot napětí mezi dvěma sousedními úrovněmi napětí, mezi nimiž stoupá či klesá v konečném, nespecifikovaném čase |
| - amplituda změny napětí | - rozdíl mezi hodnotami napětí před a po změně napětí |
| - relativní změna napětí | - poměr amplitudy změny napětí ku specifikované hodnotě napětí |
| - doba trvání změny napětí | - interval času, ve kterém napětí stoupá nebo klesá z počáteční na konečnou hodnotu |
| - kolísání napětí | - série změn napětí, nebo cyklická změna obálky napětí |
| - sinusové kolísání napětí | - kolísání napětí, při kterém je křivka kolísání sinusová |
| - amplituda kolísání napětí | - rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou napětí v průběhu kolísání napětí |
| - četnost výskytu změn | - počet změn napětí za danou jednotku času |
| - flickr | - subjektivní vjem blikání |
| - měřič flickru | - přístroj určený k měření veličin spojených s jevem flickru, tyto jsou definovány jako soubor rychlých změn světelného toku spojeného s kolísáním amplitudy napětí |

3.2. Vznik kolísání napětí v síti a flickr

Změny napájecího napětí mohou být způsobeny velkými změnami jalových nebo činných proudů u spotřebičů při vysoké impedanci sítě. Jestliže dochází k opakujícím se velkým změnám napětí v krátkých časových intervalech, dochází taktéž ke zřetelnému kolísání svítivosti. Prakticky tedy zrakem vnímáme blikání světelných zdrojů, přičemž lidské oko je citlivější na rychlejší změny. Rychlé změny bývají způsobeny zdroji kolísání, jako jsou obloukové pece, svářecí agregáty, pily, atd. Pomalé změny bývají způsobeny například změnou zatížení sítě připojením nebo odpojením velké zátěže.

V normách IEC jsou zakotveny postupy k hodnocení flickru, kolísání napětí lze tedy určit analyticky nebo přímo měřičem blikání. Byť je to obtížné je možno roztrdit kolísání napětí do různých stanovených typů. Jednotlivé typy vyžadují různé metody určování flickru. Obvykle pouze v jednoduchých případech lze určit kolísání napětí měřičem blikání nebo výpočtem. Pokud dojde ke

dvěma nebo více změnám napětí ve stejném směru za dobu kratší než 30ms pak platí, že s ohledem na rozlišovací schopnost oka, je toto vyhodnoceno jako jedna změna.

[4]

Přípustná velikost rušení		A_{lt}	A_{st}	P_{lt}	P_{st}	d
v síti	nn	0,4	1	0,75	1	-
	vn	0,3	0,75	0,7	0,9	-
	vvv	0,2	0,5	0,6	0,8	-
zařízení jednoho odběratele	nn	0,05	0,2	0,4	0,6	0,03
	vn	0,05	0,2	0,4	0,6	0,02
	vvv	0,05	0,2	0,4	0,6	0,02

tabulka 1. Přípustné hodnoty relativních změn a činitele flikru

Přípustné hodnoty relativních změn a činitele flikru uvedené v tabulce 1. jsou převzaty z IEC a PNE333430-2. Činitel rušení A se přibližně určuje jako suma trvání účinků flikru za časový interval, kde se kolísání napětí vyskytovalo viz. níže uvedené vztahy.

[4]

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 \text{ min}} \quad A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 \text{ min}}$$

Hodnota dlouhodobé (P_{lt}) a krátkodobé (P_{st}) míry vjemu flikru vychází z níže uvedených vztahů.

$$A_{st} = P_{st}^3 \quad A_{lt} = P_{lt}^3 \quad [4]$$

Hodnoty A_{st} a A_{lt} pro jednotlivého odběratele je možno ve výjimečných případech překročit, pokud pro celou síť nejsou překročeny přípustné hodnoty v době, kdy se svítí. Taktéž vyšší hodnoty relativní změny napětí d mohou být ve výjimečných případech vyšší, pokud je výskyt nižší než jednou za den. Veličina P_{st} slouží k určení rušení způsobeného prvky s krátkým pracovním cyklem. Veličina P_{lt} slouží k určení rušení způsobeného prvky s dlouhým pracovním cyklem, nebo způsobeného kombinací několika prvků vytvářejících rušení.

V IEC 61000-3-7 je doporučeno vypočítat P_{lt} z dvanácti po sobě následujících hodnot P_{st} , které jsou vyhodnoceny v desetiminutových periodách viz. níže uvedený vztah.

[4]

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3}$$

Spojování účinků kolísání napětí vyjádřených P_{sti} (individuální míra vjemu i-tého spotřebiče) je možno vyjádřit níže uvedeným vztahem.

[4]

$$P_{lt} = \sqrt[m]{\sum_i P_{sti}^m}$$

Hodnota koeficientu m se odvíjí od charakteru hlavního zdroje kolísání.

[4]

- $m = 4$ - používá se jen pro sčítání změn napětí způsobené obloukovými pecemi ve zvláštním režimu
- $m = 3$ - používá se pro většinu změn napětí, kde je riziko soudobosti malé, převážná většina studií o slučování nezávislých jevů spadá do téhle kategorie
- $m = 3,2$ - odpovídá sklonu přímkové části křivky $P_{st} = 1$
- $m = 2$ - používá se při pravděpodobné soudobosti výskytu stochastického šumu, například současně tavby v obloukových pecích
- $m = 1$ - výsledné P_{st} se blíží hodnotě 1 při velké součinnosti změn napětí

3.3. Prostředky pro omezení kolísání napětí a flikru

Velikost kolísání napětí je snížena, pokud se zařízení způsobující kolísání napětí připojí do sítě s dostatečným zkratovým výkonem, nebo pokud se provede dodatečné navýšení zkratového výkonu posílením stávající sítě. Navýšení zkratového výkonu je tedy možno využít k omezení kolísání napětí. Touto metodou lze také omezit kolísání napětí způsobené změnami činného a jalového výkonu.

Navýšení zkratového výkonu je možno provést těmito způsoby:

- zvětšení průřezu napájecího vedení
- navýšením zkratového výkonu transformátoru
- připojením dalšího zdroje, generátoru, nebo synchronního kompenzátoru
- pomocí sériové kompenzace, snížením impedance napájecího vedení
- připojením na vyšší napěťovou hladinu

Další možnost řešení kolísání napětí je přímo u zdrojů, které kolísání napětí způsobují. Což lze provést těmito způsoby:

- vhodným rozvržením provozu jednotlivých zařízení v čase, kterým dojde ke snížení společného vlivu na napájecí síť

- použitím speciálně vinuté kotvy nebo soft startu při rozběhu motorů
- změna tvaru svářecího pulsu, změnou taktu svařování, použitím DC svářecího agregátu
- použitím kompenzace, reaktorů, změnou regulace elektrod nebo přestavbou na DC u obloukových pecí

Všeobecně se doporučuje používat dynamickou kompenzaci u zařízení s velkými změnami jalového výkonu.

Vhodným výběrem světelných zdrojů lze potlačit flickr. Na omezení flickru je vhodné použít například některé druhy trubicových zářivek s elektronickým předřadníkem, které vynikají velmi malou citlivostí na kolísání napětí. Je ovšem nutné se tímto zabývat již ve fázi navrhování osvětlení, nebo při navrhování komplexní výměny světelných zdrojů, neboť některé světelné zdroje mají naopak ještě větší citlivost na kolísání napětí než obyčejná žárovka. Při použití takových světelných zdrojů, by naopak mohlo dojít ke zdůraznění flickru.

V případě úplné kompenzace jalového výkonu klesne hodnota P_{st} , poněvadž se uplatní jen činný úbytek napětí. Podmínkou ovšem je, aby kompenzace byla dostatečně rychlá. Zařízení, které je schopno výrazným způsobem vyrovnávat kolísání napětí a za rychlý kompenzátor účinníku lze považovat:

- některé druhy synchronních strojů vybavených rychlým regulátorem jalového výkonu (doba reakce do 200ms)
- kompenzační systémy s transduktorovým řízením (doba reakce do 200ms)
- kompenzační filtry s tyristorovou fázovou regulací (doba reakce do 40ms)
- stupňové kondenzátorové kompenzátory se synchronními fázovými spínači (doba reakce do 200ms)
- aktivní filtry pracující na principu pulsně-šířkové regulace s tranzistory IGBT (doba reakce do 10ms)

Všechny uvedené druhy kompenzace se vyznačují dobou zpoždění t_d , nejkratší teoretická mez potřebná ke stanovení fázového posunu je 10ms. Typickými spotřebiči s rychlými změnami reaktivního odběru jsou:

- odporové i obloukové svářecí zdroje
- obloukové pece
- tyristorové pohony
- tvářecí a dělicí stroje
- výrobní linky
- transportní zařízení

4. Technické možnosti měření

Odběratel elektrické energie a distributor elektrické energie často, na základě smluvního vztahu, potřebují technické prostředky pro měření a analýzu rušivých projevů. Jedná se o přístroje umožňující korektní a opakované měření daných elektrických veličin s možností provést analýzu naměřených dat. Výstupem měření je po té protokol měření, ve kterém je zdokumentováno, zda naměřené hodnoty byly či nebyly v dovolených mezích.

Nástroje pro měření a následnou analýzu naměřených dat, jsou k dispozici v široké škále provedení, zařízení pro měření všech rušivých vlivů je obvykle sdruženo do jednoho přístroje a nástroj pro následné zobrazení naměřených dat a jejich analýzu bývá oddělen do samostatného přístroje, může se jednat o samostatný specializovaný přístroj nebo o aplikace běžící v rámci operačního systému na PC. Množství funkcí a komfort ovládání nástroje pro zobrazení dat a jejich analýzu, jsou často rozhodujícím faktorem, který definuje užitnou hodnotu systému pro koncového uživatele.

V rámci níže uvedeného měření a vyhodnocení dat v této práci, byly použity přenosné přístroje a analyzátory PNA600 firmy ELCOM, a.s. a MEG30 firmy MEgA - Měřící Energetické Aparáty, a.s.

4.1. Komplexní analyzátor sítě BK ELCOM - PNA600

[3]

PNA600 je součástí komplexního modulárního systému BK-ELCOM pro monitoring a analýzu kvality elektřiny v souladu s platnými normami. Moderní koncepce systému BK-ELCOM je založena na bázi technologie virtuální instrumentace. Základem analyzátoru je výkonné PC a firmware (softwarová aplikace). Zákazník si dle svých potřeb volí hardwarovou podobu přístroje a funkcionalitu firmwaru. Cílem modularity firmwaru a volitelného hardwaru je dosažení maximální užité hodnoty pro konkrétního zákazníka při minimalizaci pořizovacích nákladů.

Analyzátor sítě BK-ELCOM v provedení PNA600 se vyznačuje kompaktní konstrukcí (hloubka pouhých 60mm). Je vhodným prostředkem pro instalace na rozvodnách, velmi odolný po stránce mechanické i elektrické (krytí IP65). Přístroj umožňuje monitorovat čtyři napěťové a čtyři proudové kanály připojením proudových kleští.

Ovládání je možné použitím dotykového externího displeje (volitelné příslušenství), dálkově prostřednictvím notebooku nebo připojením standardního PC příslušenství (monitor, klávesnice,

myš). Přístroj je vybaven rozhraním USB a RS232 Ethernet. Konstrukce přístroje je extrémně mechanicky odolná a vhodná pro měření v terénu.



Obr. 3. Analyzátor sítě BK-ELCOM v provedení PNA600

Technická specifikace:

Všeobecně

Intervaly ukládání	k*0,2s/ 3s/ k*1min/ 10min/ 15min/ 2h
Pracovní teplota	-20 až +50°C
Skladování	-30 až +80°C, odolný proti UV
Relativní vlhkost	10 až 90%, bez kondenzace
Rozměry	64 x 310 x 340mm (v x š x h)
Hmotnost	5kg

Napěťové vstupy

Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy L1 – L3	50, 100, 300, 600V
Vstupní rozsahy N	5, 10, 50, 100V

Šířka pásma	10Hz až 50kHz
Vstupní impedance	1MΩ
Izolační pevnost	6kV RMS, 50Hz, 1min
Přesnost	+/-0,5%
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron

Proudové vstupy

Počet vstupů	4
Vstupní rozsah	dle použitých proudových kleští
Šířka pásma	10Hz až 20kHz
Přesnost	+/-1,0%

Normy

Bezpečnost	IEC 61010-1, pracovní napětí 600V AC RMS, CAT III
EMC	EN 50082-2 průmyslová norma
Pro analýzu	ČSN EN 50160, ČSN EN 61000-4-7, ČSN EN 61000-4-15, ČSN EN 61000-4-30

Hardware

Operační paměť	512MB RAM
Procesor	Intel® Pentium® M (1,8GHz)
HDD	30GB
Displej	volitelný - externí, dotykový 10,4" TFT
Rozhraní	USB, RS232, Ethernet
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Napájení	85 až 265V AC, 47 až 63Hz
Příkon	40VA

4.2. Přenosný Power Quality monitor MEg30

[2]

Přenosný Power Quality monitor MEg30 je určen pro měření všech parametrů kvality napětí dle ČSN EN 50160 v nn sítích včetně záznamů časových průběhů. Monitor měří i při výpadku napájení. Monitor MEg30 má 4 napěťové vstupy a slouží k měření čtyř napětí a čtyř proudů, činných a jalových výkonů a energií. Vyhodnocuje průběhy událostí na napětí a proudech. Naměřené hodnoty analyzuje v souladu se standardem ČSN EN 61000-4-30, podle konkrétních potřeb lze naprogramovat i specializovaná vyhodnocení. Přenosné PQ monitory MEg30 umožňují identifikaci směru místa vzniku problému s kvalitou napětí.

Přenosný PQ monitor je uzpůsoben ke snadné obsluze a manipulaci, bezpečnému provozu. Vlastní měření probíhá pomocí klešťových nebo flexibilních snímačů. Přístroje s minimálními rozměry jsou chráněny v robustní, nevodivé a samozhášivé skřínce.



Obr. 4. Přenosný Power Quality monitor MEg30

Technická specifikace:

Měření napětí U1, U2, U3, U4

U _{jm} fáz. napětí U1, U2, U3, U4:	230 V
Rozsah měření fázových napětí:	0 až 440 V _{ef}
Max. dovolené fázové napětí:	450 V _{ef}
Přesnost měření napětí:	±0,1% z údaje ±0,1% U _{jm} při 0,8 U _{jm} až 1,2 U _{jm} ±0,2% z údaje ±0,2% U _{jm} mimo 0,8 U _{jm} až 1,2 U _{jm}
Rozlišovací schopnost:	0,1% U _{jm} nebo lepší
Teplotní součinitel:	lepší než 0,2% U _{jm} /10°C

Měření proudů I1, I2, I3, I4

Přesnost měření proudu:	0,2% z údaje a 0,2% I _{jm} při 0,1 I _{jm} až 1,2 I _{jm} 0,5% z údaje při 1,2 I _{jm} až 2 I _{jm}
Rozlišovací schopnost:	0,1% I _{jm} nebo lepší
Teplotní součinitel:	lepší než 0,2% I _{jm} /10°C
Proudová přetížitelnost:	5 × I _{jm} po dobu 1 s

Měřicí řetězec AMOS PQ, AMOS M – MEg 30

I _{jm} při činiteli tvaru K=1,11:	30 A, 100 A, 300 A, 1000 A
Měřicí rozsah:	0 až 2 I _{jm}
Přesnost měření proudu:	1,0% I _{jm}
Linearita měření proudu:	lepší než 0,5% I _{jm}
Změna údaje se změnou polohy:	1% I _{jm}
Frekvenční rozsah:	40 Hz až 2 kHz

Měřicí řetězec MT PQ – MEg 30

I _{jm} při činiteli tvaru K=1,11:	1 A, 5 A, 30 A, 150 A
Průřez okénka:	10 mm × 20 mm
Měřicí rozsah:	0 až 1,2 I _{jm}
Přesnost měření proudu:	0,5% I _{jm} + 0,2% z údaje při f = 50 Hz
Frekvenční rozsah:	40 Hz až 2 kHz

Měření frekvence

Jmenovitá hodnota:	$f_{jm} = 50,0 \text{ Hz}$
Měřicí rozsah:	45,0 Hz až 55,0 Hz
Přesnost měření frekvence:	lepší než 10 mHz v rozsahu 48 Hz až 52 Hz
Rozlišení:	1 mHz

Měření účinníku

Měřicí rozsah:	0 až 1,0 ve všech čtyřech kvadrantech
Přesnost měření:	lepší než 0,5% při U_{jm} a I_{jm}

Měření výkonu

Přesnost měření:	0,5% P_{jm} při $f = 50 \text{ Hz}$, 0,8 U_{jm} až 1,2 U_{jm} 0,1 I_{jm} až 1,2 I_{jm}
Měření napěťové nesymetrie:	rozlišení 0,1
Měření P_{st} :	rozlišení 0,01
Měření THD:	rozlišení 0,1%
Měření U_{harm} :	rozlišení 0,1% U_{jm}

Napájení

Napájení z kteréhokoliv měřicího vstupu U1, U2, U3	
Rozsah napájecího napětí:	100 V _{ef} až 450 V _{ef}
Maximální příkon:	5 VA
Uvnitř monitoru je na desce PQA umístěna pojistka typu FSK 00.1 (100 mA)	
Záložní napájení:	akumulátor SANYO N-50AAA L1x5 v průměru až po dobu pěti 1min. intervalů při referenčních podmínkách prostředí

5. Měření, zpracování a rozbor naměřených dat

Pro účely této bakalářské práce jsem zajistil naměřené hodnoty ze dvou měření společnosti ČEZ Distribuce, a.s. Jedná se o měření v obci Štíty, jedno na hladině VN a druhé na hladině NN, které probíhaly simultánně za účelem zjištění kvality napětí a flikru pro vyhodnocení žádosti na navýšení příkonu v dané lokalitě.

5.1. Měření č.1 – SU_0832 Štíty

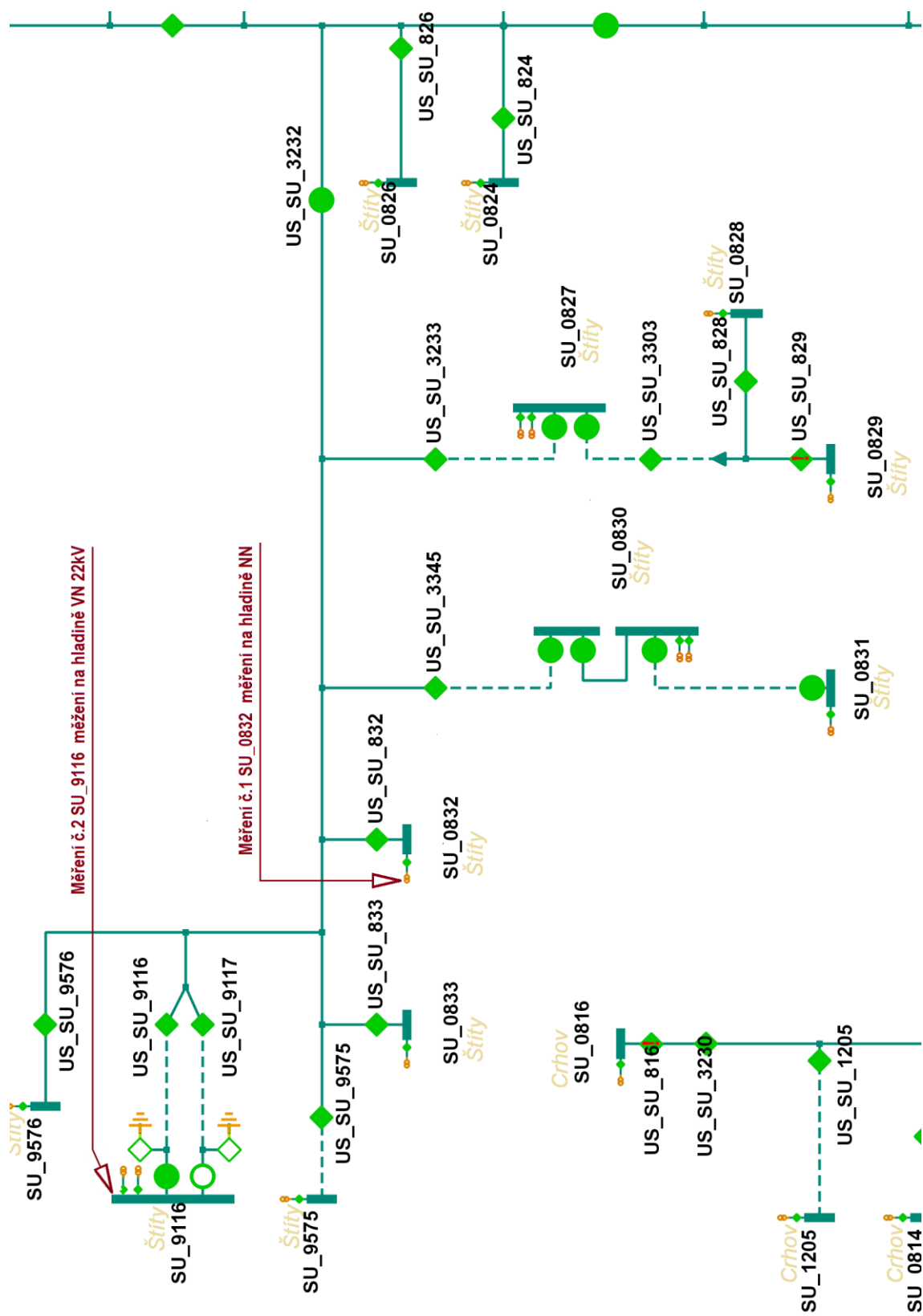
Měření v DTS SU_0832 bylo vyvoláno na základě požadavku zákazníka kategorie **B** (velkoodběratel napojený z VN) na navýšení příkonu. S ohledem na skutečnost, že v dané lokalitě již v minulosti byly stížnosti na kolísání napětí, bylo rozhodnuto provést měření na hladině NN.

Měření bylo zahájeno 9. 11. 2012 v 10:30 a ukončeno 23. 11. 2012 v 9:50. Pro vyhodnocení měření kvality napětí a úrovně kolísání napětí, jsem se rozhodl z těchto měření vybrat data v rozsahu 12.11.2012 00:00 až 18.11.2012 23:50. V tomto rozsahu proběhlo 1008 vzorků měření Pst, Plt a THDu, jejichž vzorkovací frekvence je 10 minut a 10080 vzorků měření efektivní hodnoty U_{max} a U_{min} se vzorkovací frekvencí 1 minuta. Pro potřeby vyhodnocení jsem dle ČSN EN 50160 přepočítal hodnoty U_{max} a U_{min} na vzorkovací frekvenci 10 minut, výsledné hodnoty jsou průměrem deseti hodnot desetiminutového intervalu.

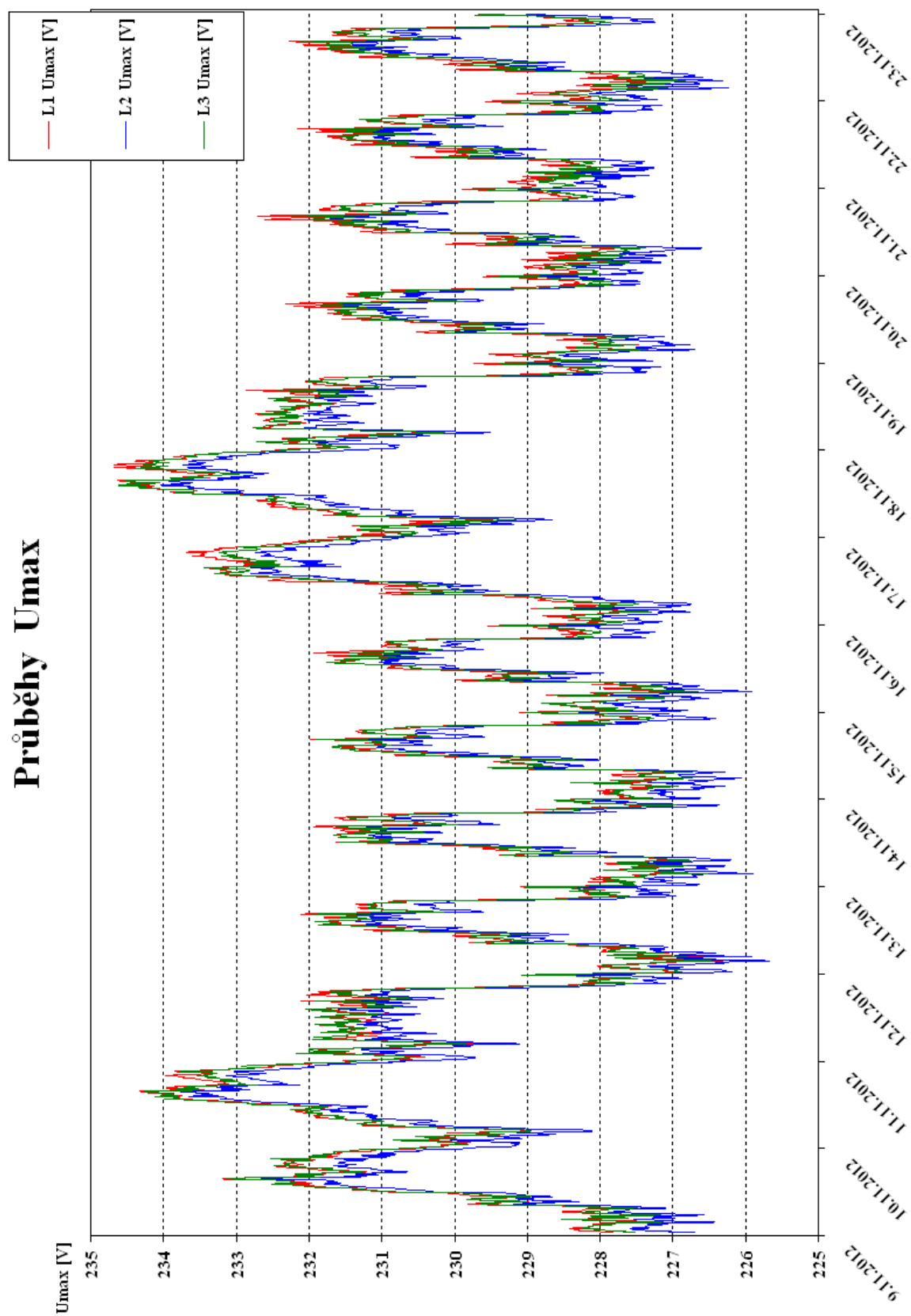
Všechna naměřená data jsem zpracoval v softwaru Excel, jenž je součástí kancelářského balíku Microsoft Office, standardně se data zpracovávají ve specializovaném softwaru. Výsledné grafy a hodnoty se tedy mohou mírně lišit, neboť ve specializovaném softwaru na zpracování naměřených dat jsou zabudovány algoritmy na korekci a opravu dat, ke kterým nemám přístup, tudíž jsem je ve svých výpočtech nemohl zohlednit.

Samotné měření proběhlo v DTS SU_0832 Štíty, jedná se o distribuční trafostanici, ze které jsou napojení přes distribuční síť NN odběratelé kategorie C a D z obce Štíty. Na Obr.5. je přehledové schéma SCADA z Dispečerského Řídicího Systému, se zakresleným umístěním měření.

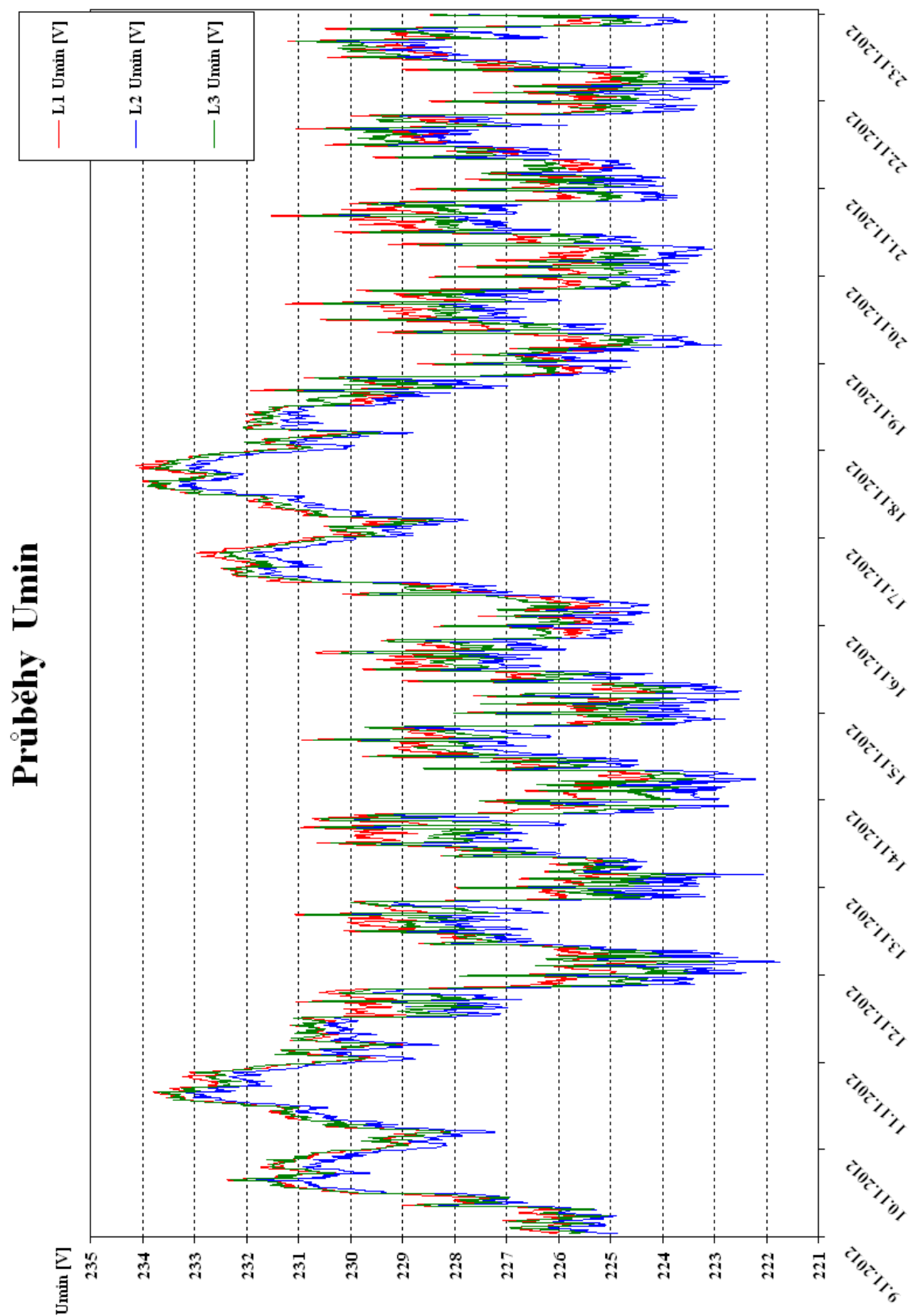
V příloze č.1. je přehledové schéma vedení VN z dané oblasti. Z tohoto schéma je zřejmé, že se DTS SU_0832 Štíty nachází na odbočce z hlavního vedení VN95, které je napájeno z rozvodny 110/22kV Ráječek.



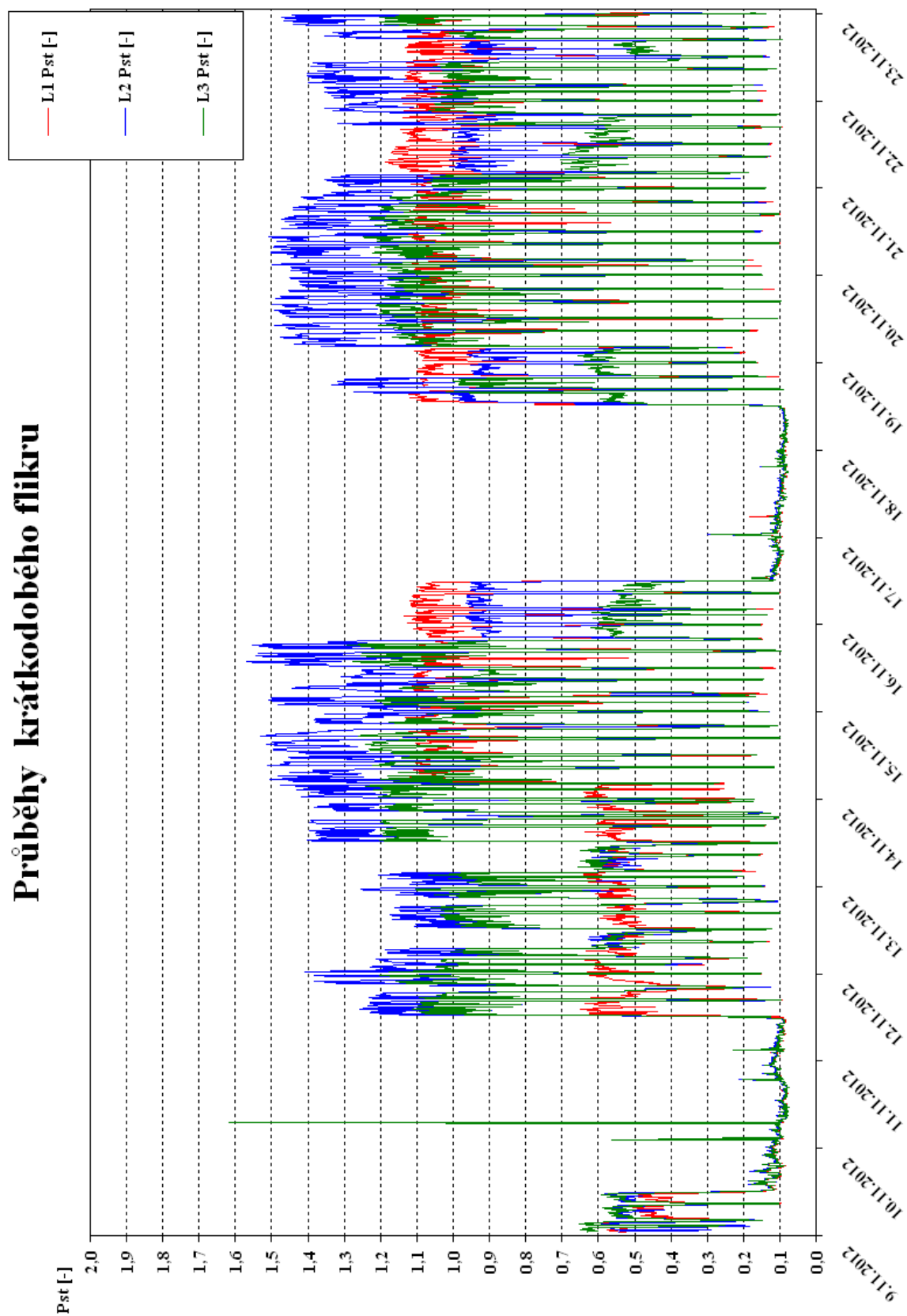
Obr. 5. schéma SCADA z DŘS – obec Štítý



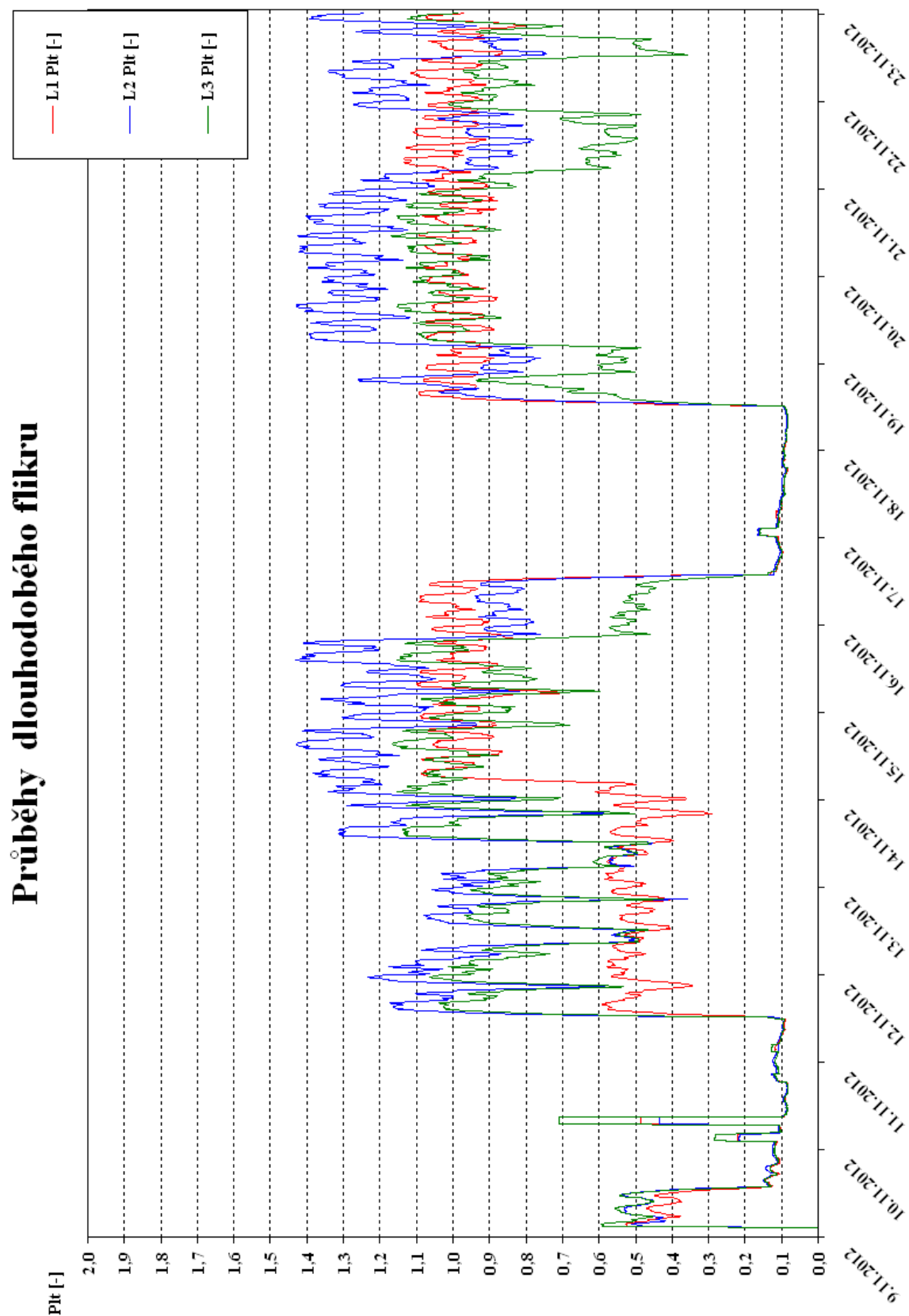
Graf 1. Průběhy U_{max} (měření SU_0832_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)



Graf 2. Průběhy Umin (měření SU_0832_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)



Graf 3. Průběhy Pst - krátkodobého flikru (měření SU_0832_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)



Graf 4. Průběhy Plt - dlouhodobého flikru (měření SU_0832_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)

Rozbor napájecího napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity pro odchylky průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut jsou: 230 [V] -10/+10% během 95% z T (min, max), 230 [V] -15/+10% během 100% z T (min100, max100) T=1 týden			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 Uprům [V]		229,729	
L1 Umax [V]	253,000	234,678	vyhovuje
L1 Umin [V]	207,000	224,094	vyhovuje
L1 Umax100 [V]	253,000	234,678	vyhovuje
L1 Umin100 [V]	195,500	224,094	vyhovuje
L2 Uprům [V]		228,957	
L2 Umax [V]	253,000	234,030	vyhovuje
L2 Umin [V]	207,000	221,732	vyhovuje
L2 Umax100 [V]	253,000	234,030	vyhovuje
L2 Umin100 [V]	195,500	221,732	vyhovuje
L3 Uprům [V]		229,577	
L3 Umax [V]	253,000	234,621	vyhovuje
L3 Umin [V]	207,000	222,996	vyhovuje
L3 Umax100 [V]	253,000	234,621	vyhovuje
L3 Umin100 [V]	195,500	222,996	vyhovuje

Rozbor harmonických napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity úrovně THDu ≤ 8% zahrnující harmonické do 40-tého řádu.			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 THDumax [-]	1	1,590	vyhovuje
L2 THDumax [-]	1	1,633	vyhovuje
L3 THDumax [-]	1	1,674	vyhovuje

Rozbor úrovně kolísání napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity úrovně pro flicker jsou: PLT ≤ 1 během 95% z T, T=1 týden PST interval 10 minut, PLT interval 2 hod			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 PLTmax [-]	1	1,135	nevyhovuje
L2 PLTmax [-]	1	1,431	nevyhovuje
L3 PLTmax [-]	1	1,170	nevyhovuje
Počet překročení meze	12.11.2002 00:00-18.11.2012 23:50		%/počet vzorků
L1	153		15,2/1008
L2	411		40,8/1008
L3	188		18,7/1008

5.2. Měření č.2 – SU_9116 Štíty

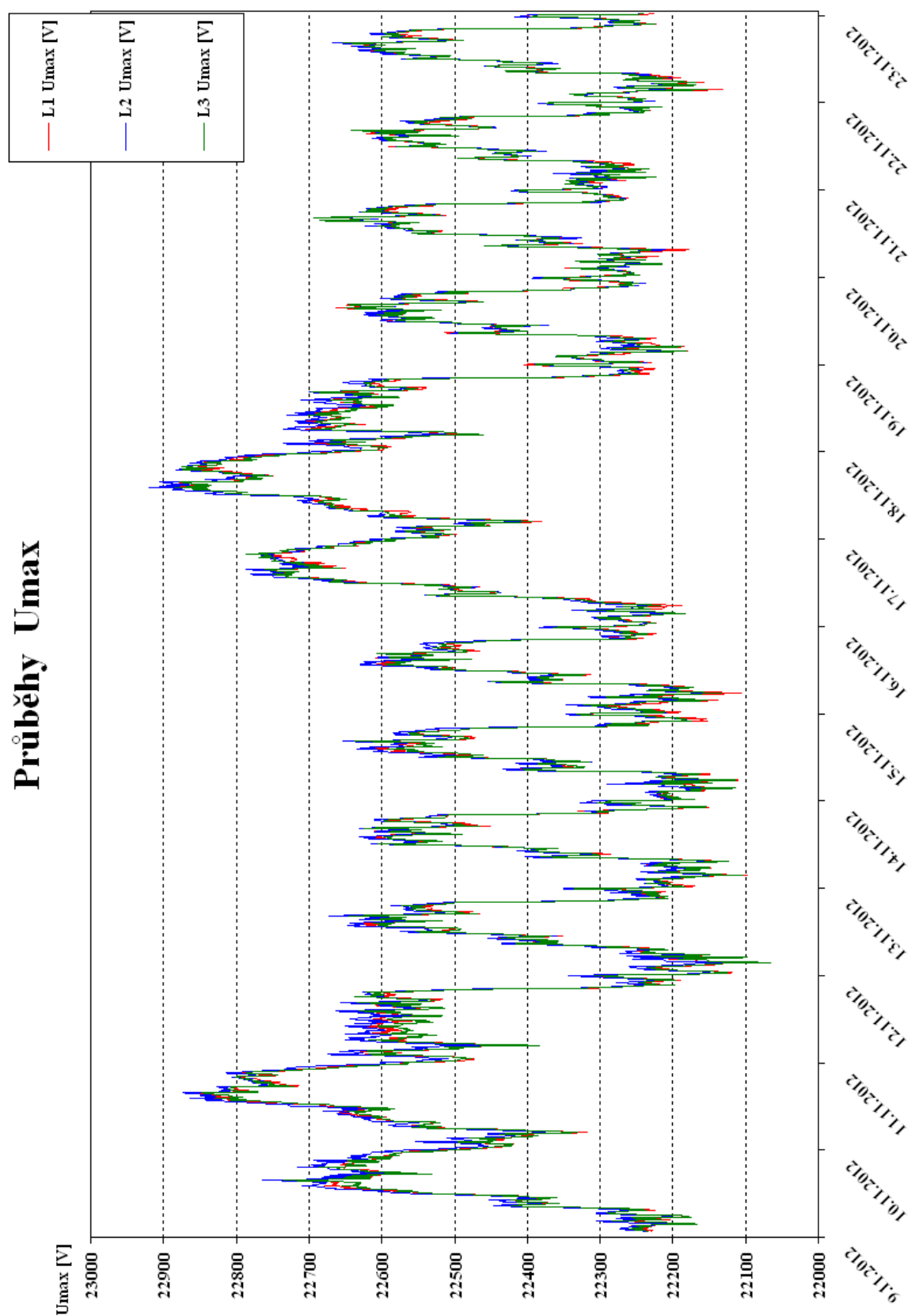
Měření v DTS SU_09116 bylo vyvoláno na základě požadavku zákazníka kategorie **B** (velkoodběratel napojený z VN) na navýšení příkonu. S ohledem na skutečnost, bylo rozhodnuto provést měření na hladině VN v trafostanici odběratele.

Měření bylo zahájeno 9. 11. 2012 v 10:30 a ukončeno 23. 11. 2012 v 9:50. Pro vyhodnocení měření kvality napětí a úrovně kolísání napětí, jsem se rozhodl z těchto měření vybrat data v rozsahu 12.11.2012 00:00 až 18.11.2012 23:50. V tomto rozsahu proběhlo 1008 vzorků měření Pst, Plt a THDu, jejichž vzorkovací frekvence je 10 minut a 10080 vzorků měření efektivní hodnoty Umax a Umin se vzorkovací frekvencí 1 minuta. Pro potřeby vyhodnocení jsem dle ČSN EN 50160 přepočítal hodnoty Umax a Umin na vzorkovací frekvenci 10 minut, výsledné hodnoty jsou průměrem desetiminutového intervalu.

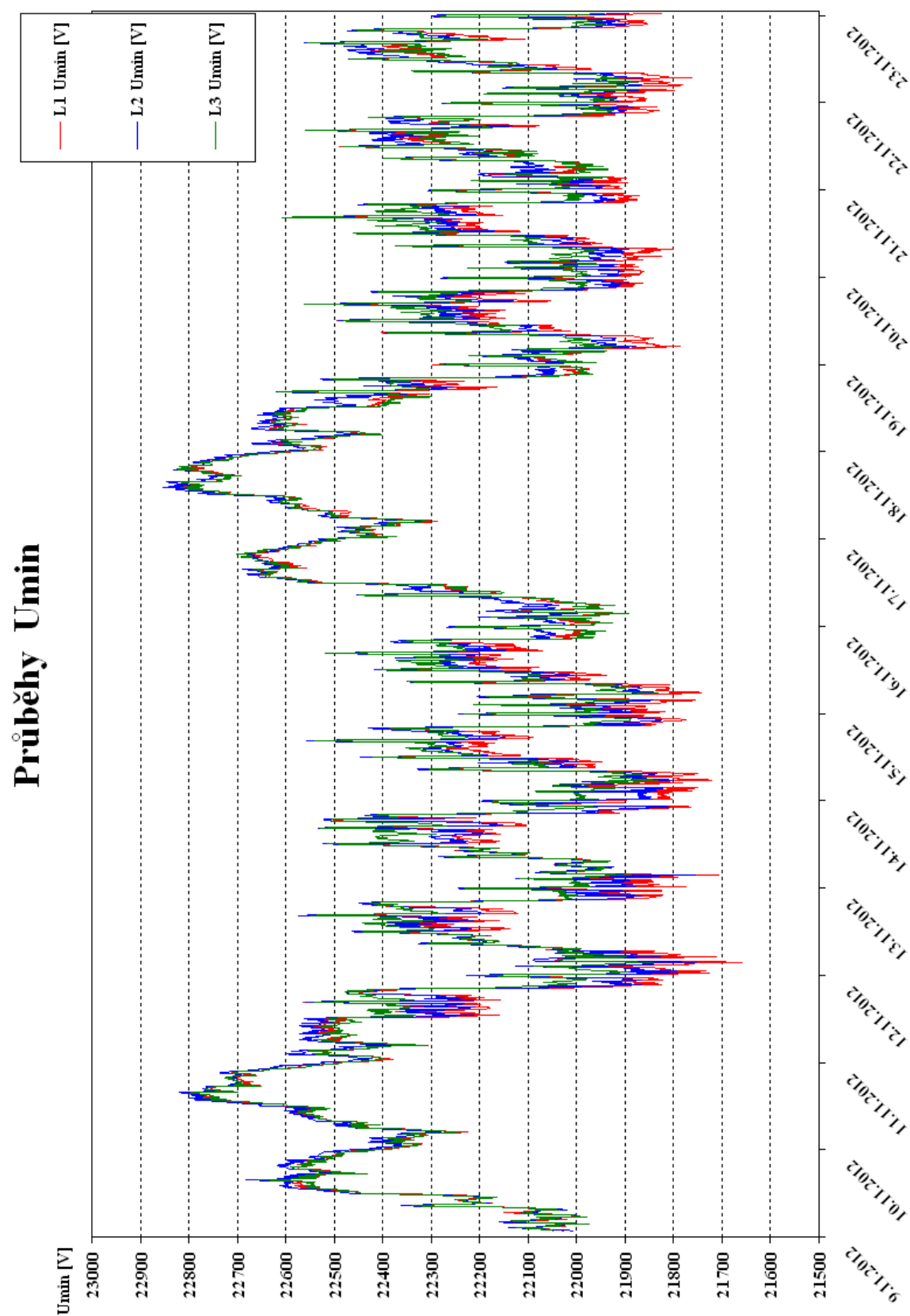
Všechna naměřená data jsem zpracoval v softwaru Excel, jež je součástí kancelářského balíku Microsoft Office, standardně se data zpracovávají ve specializovaném softwaru. Výsledné grafy a hodnoty se tedy mohou mírně lišit, neboť ve specializovaném softwaru na zpracování naměřených dat jsou zabudovány algoritmy na korekci a opravu dat, ke kterým nemám přístup, tudíž jsem je ve svých výpočtech nemohl zohlednit.

Samotné měření proběhlo v DTS SU_9116 Štíty, jedná se o distribuční trafostanici, ze které je napojen odběratel kategorie B z obce Štíty. Na Obr. 5. je přehledové schéma SCADA z Dispečerského Řídicího Systému, se zakresleným umístěním měření.

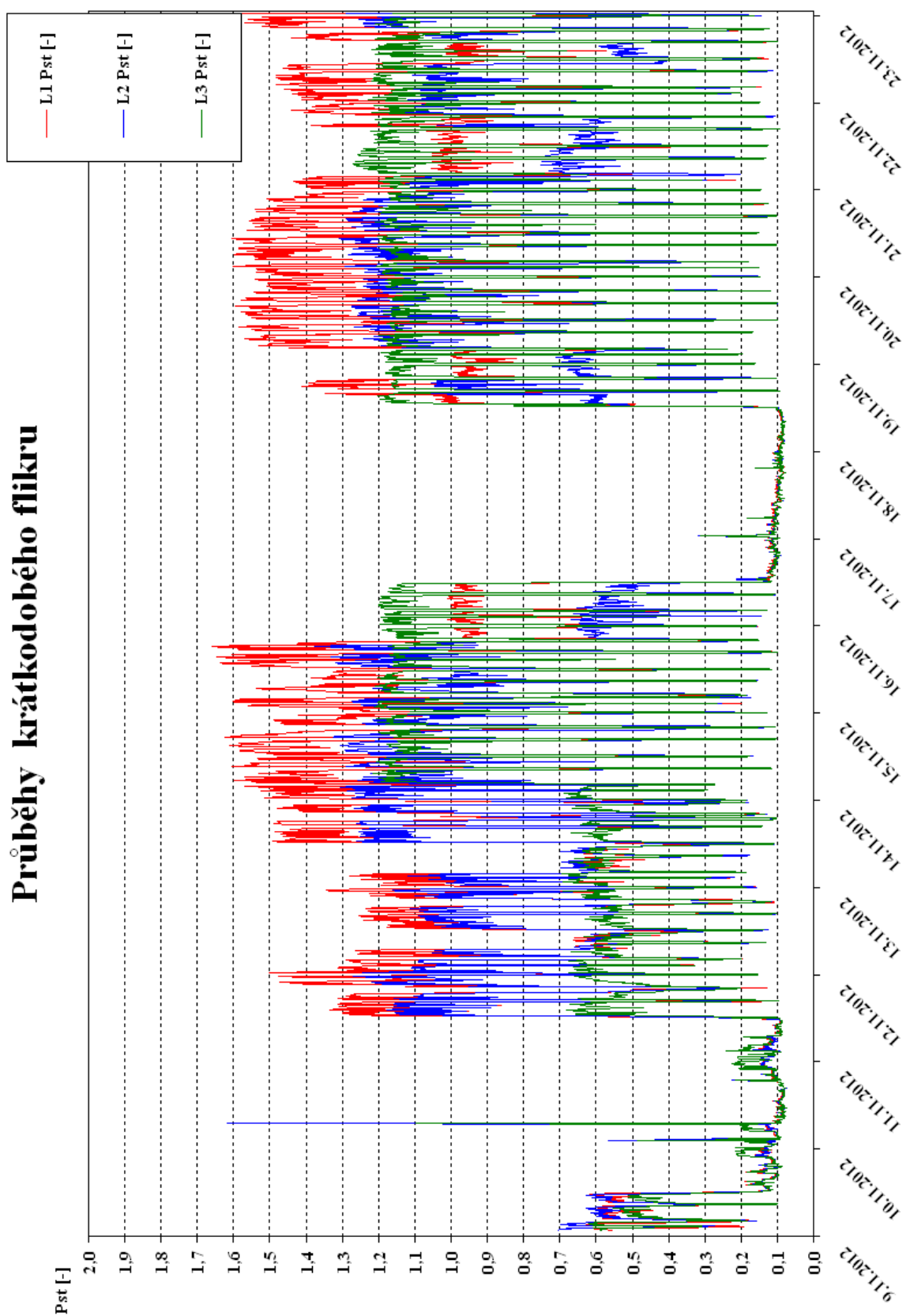
V příloze č. 1. je přehledové schéma vedení VN z dané oblasti. Z tohoto schéma je zřejmé, že se DTS SU_0832 Štíty nachází na konci odbočky z hlavního vedení VN95, které je napájeno z rozvodny 110/22kV Ráječek.



Graf 5. Průběhy U_{max} (měření SU_9116_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)

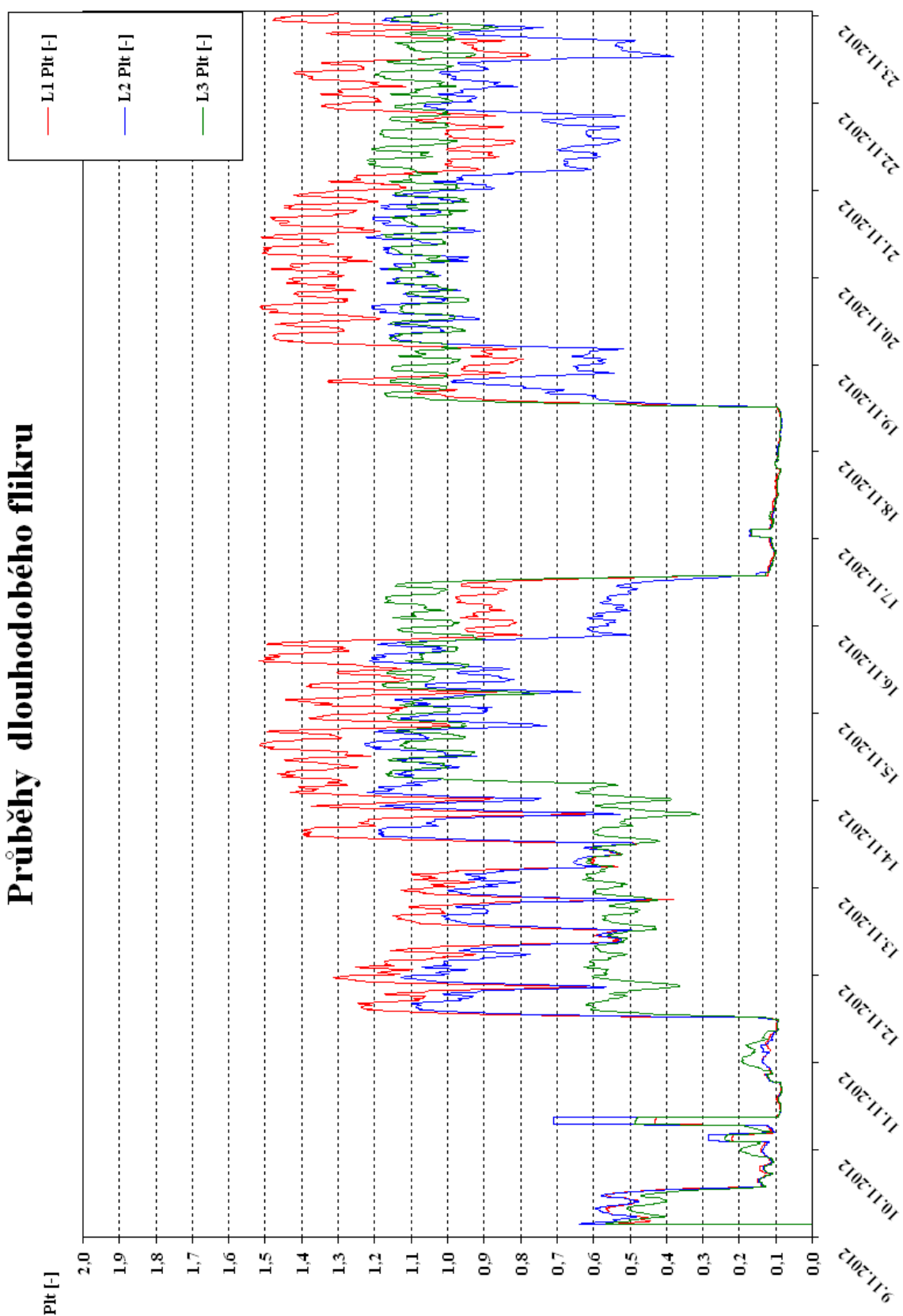


Graf 6. Průběhy U_{min} (měření SU_9116_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)



Graf 7. Průběhy Pst - krátkodobého flikru (měření SU_0832_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)

Průběhy dlouhodobého flikru



Graf 8. Průběhy Plt - dlouhodobého flikru (měření SU_9116_Štíty 9. 11. - 23. 11. 2012)

Rozbor napájecího napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity pro odchylky průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut jsou: 230 [V] -10/+10% během 95% z T (min, max), 230 [V] -15/+10% během 100% z T (min100, max100) T=1 týden			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 Uprům [V]		22399,250	
L1 Umax [V]	24200,000	22890,881	vyhovuje
L1 Umin [V]	19800,000	21659,519	vyhovuje
L1 Umax100 [V]	-	-	-
L1 Umin100 [V]	-	-	-
L2 Uprům [V]		22419,330	
L2 Umax [V]	24200,000	22919,830	vyhovuje
L2 Umin [V]	19800,000	21753,457	vyhovuje
L2 Umax100 [V]	-	-	-
L2 Umin100 [V]	-	-	-
L3 Uprům [V]		22401,911	
L3 Umax [V]	24200,000	22884,404	vyhovuje
L3 Umin [V]	19800,000	21833,783	vyhovuje
L3 Umax100 [V]	-	-	-
L3 Umin100 [V]	-	-	-

Rozbor harmonických napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity úrovně THDu ≤ 8% zahrnující harmonické do 40-tého řádu.			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 THDumax [-]	1	1,652	vyhovuje
L2 THDumax [-]	1	1,707	vyhovuje
L3 THDumax [-]	1	1,611	vyhovuje

Rozbor úrovně kolísání napětí dle ČSN EN 50160.			
Limity úrovně pro flicker jsou: PLT ≤ 1 během 95% z T, T=1 týden PST interval 10 minut, PLT interval 2 hod			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Vyhodnocení
L1 PLTmax [-]	1	1,518	nevyhovuje
L2 PLTmax [-]	1	1,226	nevyhovuje
L3 PLTmax [-]	1	1,219	nevyhovuje
Počet překročení meze	12.11.2002 00:00-18.11.2012 23:50		%/počet vzorků
L1	469		46,5/1008
L2	281		27,9/1008
L3	243		24,1/1008

6. Závěr

Na základě naměřených dat, jejich rozboru a vyhodnocení, vyplývá, že z hlediska THDu a úrovně napětí jsou naměřené hodnoty vyhovující, z hlediska míry vjemu flikru jsou hodnoty nevyhovující.

Z grafů je patrné, že hodnoty dlouhodobé i krátkodobé míry vjemu flikru jsou ve dnech pracovního klidu zanedbatelné, taktéž je zřejmý jejich významný nárůst v pracovních dnech. Porovnáme-li hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru z měření v DTS SU_0832 s hodnotami naměřenými v DTS SU_9116 lze usoudit, že zdroj flikru je v zařízení připojeném k DTS SU_9116 nebo v okolních DTS. Z počtu překročení hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru je zřejmá i nesymetrie, u obou měření jsou hodnoty v jedné fázi dvojnásobné oproti zbylým dvěma fázím.

Z průběhů napětí je z grafů zřejmý pokles napětí v pracovních dnech a nárůst napětí ve dnech pracovního volna. Zřetelně se tak na napětí projevuje spuštění průmyslové výroby.

V době kdy probíhalo měření, bylo vedení VN95 v základním zapojení - normálovém stavu viz. příloha č.2. Pro vyhodnocení zda doporučit navýšení příkonu pro zákazníka kategorie B je ovšem nutno vyhodnotit i náhradní zapojení viz. příloha č. 3., které se využívá v době provozních manipulací a pro obnovení dodávky elektrické energie v případě poruchy. Vzhledem k množství odběrů napojených na VN96 a zátěži, která se v době náhradního napájení sčítá s VN95, lze oprávněně předpokládat, že výsledné napětí v dané lokalitě bude nižší. Přesné hodnoty lze zjistit pomocí dalšího měření v době náhradního napájení. Pro posouzení žádosti je možno také použít výpočty chodu sítí, které mají dostatečnou vypovídací hodnotu. Před případným navýšením je ovšem nutno v dané lokalitě přesně identifikovat zdroj flikru a omezit jeho vliv na distribuční soustavu.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 50160 ed.3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
- [2] <http://www.e-mega.cz/meg-30>
- [3] <http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom/clanek/92-PNA600.html>
- [4] Josef Tlustý a spol. - Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí

Seznam příloh

- Přílohy na CD

Obsah CD:

- příloha č.1.- Schéma SCADA z VN95.png
- příloha č.2.- Schéma SCADA z VN95 - základní zapojení.png
- příloha č.3.- Schéma SCADA z VN95 - náhradní zapojení z VN96.png
- příloha č.4.- Štíty_SU_0832_Pst_Plt_THD.txt
- příloha č.5.- Štíty_SU_0832_U_I.txt
- příloha č.6.- Štíty_SU_9116_Pst_Plt_THD.txt
- příloha č.7 - Štíty_SU_9116_U_I.txt